

ANALISA DESAIN TABUNG BAHAN BAKAR GAS JENIS *COMPRESSED NATURAL GAS* (CNG) PADA MOBIL BUS TEKANAN 200 BAR

Anwar Ilmar Ramadhan¹
airamadhan@yahoo.com
Jurusan Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah
Jakarta

Ery Diniardi²
erydiniardi@yahoo.co.id
Jurusan Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah
Jakarta

Wiwit Kartika Sari³
wiwitkartikasari@gmail.com
Jurusan Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah
Jakarta

ABSTRAK

Tabung Bahan Bakar Gas (BBG) jenis *Compressed Natural Gas* (CNG) yang digunakan pada mobil bus, merupakan jenis bejana tekan. Tekanan pada tabung ini berasal dari isi atau fungsi tabung sebagai tempat penyimpanan fluida gas yang bertekanan. Tujuan analisa ini diantaranya untuk mengetahui karakteristik desain tabung, menghitung kekuatan material bahan menggunakan rumus formula serta mengetahui fenomena yang terjadi pada penggunaan material terhadap pengaruh desain tabung BBG menggunakan simulasi *software* CAD dalam Solidworks. Pada penelitian ini, dilakukan analisa perbandingan kekuatan material tabung BBG menggunakan material standar yakni 30 CrMo dengan material pembanding AISI 4130 dan SG 295. Dari keseluruhan hasil perhitungan dan analisa didapatkan bahwa material yang digunakan pada tabung BBG jenis CNG yakni 30 CrMo merupakan jenis baja paduan (*Alloy Steel*), memiliki *Factor Of Safety* yang baik, aman digunakan bahkan pada tekanan 300 bar.

Kata Kunci: *Bejana tekan, desain, simulasi, material, baja paduan*

I. Pendahuluan

Keselamatan merupakan masalah yang sangat diperhatikan dalam proses perancangan dan pengoperasian suatu bejana tekan. Oleh sebab itu, metode analisis yang digunakan dalam semua kegiatan tersebut harus teliti dan kuat sehingga mampu memprediksi berbagai kondisi pengoperasian, baik pada kondisi operasi normal maupun pada saat terjadi kecelakaan. Bahan, suhu, tekanan, pembebanan, coran dan korosi sangat penting untuk diketahui, karena faktor tersebut mempengaruhi apakah desain bejana tekan yang digunakan baik atau tidak

Didalam studi kali ini, penulis akan memaparkan pustaka mengenai Bagaimana hasil perbandingan antara perhitungan analitik menggunakan rumus formula dengan hasil uji tabung BBG jenis CNG, komposisi kimia yang terdapat pada material tabung BBG jenis CNG yang digunakan pada mobil bus, nilai *safety factor* yang baik untuk tabung BBG jenis CNG menggunakan simulasi *software* CAD

SOLIDWORKS 2014 serta hasil uji material tabung menggunakan simulasi *software* CAD *SOLIDWORKS 2014*.

Dimana, riset pustaka yang dilakukan dimulai dengan perhitungan kekuatan material tabung menggunakan perhitungan analitik dan dilanjutkan dengan simulasi *software* CAD *SOLIDWORKS 2014*.

Dalam makalah ini penulis lebih menekankan pada perhitungan kekuatan material tabung menggunakan rumus formula dan membandingkannya dengan hasil uji tabung yang telah disyahkan serta hasil uji material tabung *Compressed Natural Gas* (CNG) pada mobil bus menggunakan simulasi *software* CAD dalam *SOLIDWORKS 2014*.

II. Metodologi Penelitian

Dalam makalah ini penulis lebih menekankan pada perhitungan kekuatan material tabung menggunakan rumus formula dan membandingkannya dengan hasil uji tabung

yang telah disyahkan serta hasil uji material tabung *Compressed Natural Gas* (CNG) pada mobil bus menggunakan simulasi *software* CAD dalam *SOLIDWORKS 2014*.

Hal yang perlu diperhatikan aspek penting dalam mendesain tabung CNG diantaranya:

- a. Tekanan maksimum
Berdasarkan ISO 11439, temperatur maksimum kerja yang diizinkan pada tabung CNG yaitu 200 bar yakni pada suhu 15 °C dengan tekanan pengisian maksimum 260 bar. Komponen di dalam ruang mesin harus dapat bertahan pada kisaran suhu – 40 °C sampai dengan 120 °C.
- b. *Density*
Tabung CNG untuk kendaraan bermotor harus memiliki densitas yang rendah.
- c. Kekuatan luluh (*yield strength*)
Tabung CNG mengalami tekanan kerja 200 bar atau lebih. Tabung ini harus bocor terlebih dahulu sebelum *fracture*. Kebocoran akan terjadi jika *yield strength* dari material telah melewati. Jadi untuk menghindari terjadi kebocoran maka nilai *yield strength* harus besar.
- d. *Modulus elastisitas*
Modulus elastisitas harus tinggi agar pada tekanan maksimum tabung CNG tidak mengembang.
- e. *Fracture toughness*
Fracture toughness menurut aspek perhitungan *Ashby* merupakan parameter utama dalam menentukan *performance index* dari *safe pressure vessels*. Oleh karena itu, nilai *fracture toughness* harus tinggi agar tahan terhadap retak.
- f. Konduktivitas termal
Konduktivitas termal pada tabung CNG harus memiliki konduktivitas termal yang rendah karena tabung CNG mengalami pemanasan dari panas mesin dan dengan konduktivitas termal yang rendah diharapkan tidak merambat ke dalam internal tabung CNG.

g. *Specific heat*

Agar kenaikan temperatur internal tabung CNG tidak cepat maka, *specific heat* yang dibutuhkan untuk tabung CNG harus rendah.

h. Ekspansi termal

Pada saat pengisian, tekanan dan temperatur tabung berubah yang menyebabkan terjadinya ekspansi pada material. Ekspansi ini harus di hindari sehingga dibutuhkan ekspansi termal yang rendah.

Perhitungan kekuatan *pressure vessel*, terdiri dari :

1. Perhitungan tebalnya dinding (*shell*) menggunakan rumus :

$$t = \frac{P_i R}{SE - 0,6 P_i} \quad (1)$$

2. Kemungkinan belah, menggunakan rumus :

$$t_b \geq \frac{D \times p}{2 \cdot \sigma_t (1 + D / L)} \quad (2)$$

3. Kemungkinan putus. menggunakan rumus :

$$t \geq \frac{D \times p}{4 \times \sigma_t} \quad (3)$$

4. Perhitungan tebalnya kepala tabung (*head*) menggunakan rumus :

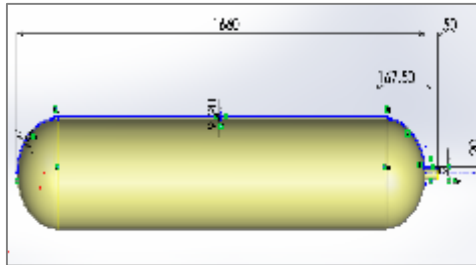
$$t = \frac{P_i D_i K}{2 SE - 0,2 P_i} \quad (4)$$

III. Hasil dan Pembahasan

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu:

1. Perbandingan antara perhitungan analitik menggunakan rumus formula dengan hasil uji tabung BBG jenis CNG
Perbandingan ini mengacu pada hasil perhitungan analitik dengan hasil pengujian yang dilakukan oleh Balai Besar dan Barang Teknik, Kementerian Perindustrian, diantaranya :
 - a. Uji dimensi
Pengujian visual yang dilakukan oleh Balai Besar dan Barang Teknik,

Kementerian Perindustrian, meliputi panjang tabung, tebal badan tabung, tebal badan tabung berikut lapisannya dan diameter badan tabung menggunakan alat ukur jangka sorong dan roll meter pada suhu ruang 26 °C. Berikut merupakan gambaran Tabung tipe 2 yang digunakan pada mobil bus dan ukuran dimensinya



Gambar 1. Tabung tipe 2 yang digunakan pada mobil bus dan ukuran dimensinya

Ketebalan minimum *shell* dihitung berdasarkan *circumferential stress* (pada sambungan arah memanjang) dan *longitudinal stress* (pada sambungan arah melingkar). Karena ketebalan berdasarkan *circumferencial stress* ($t = 5,87$ mm) lebih besar dari ketebalan berdasarkan *longitudinal stress* ($t = 3,36$ mm) maka dipilih ketebalan *shell* berdasarkan tekanan dalam sebesar 5,87 mm. Sedangkan hasil perhitungan kemungkinan tabung belah dan putus adalah sesuai Tabel 1. berikut:

Tabel 1. Perhitungan kemungkinan tabung belah dan putus

Tebal dinding (mm)			
Perhitungan analitik	Hasil uji	Kemungkinan belah	Kemungkinan putus
5,87	5,00	4,49	2,64

b. Uji tarik

Hasil perhitungan analitik regangan dengan hasil uji Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Kementerian Perindustrian, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan uji tarik

Batang uji	Panjang ukur (mm)	Panjang akhir (mm)	Hasil perhitungan (%)	Hasil uji (%)
1	50	57,6	15,2	15,2
2	50	57,4	14,8	14,8
Rata - rata			15	15

c. Uji impact

Hasil perhitungan nilai *impact* secara analitik dengan hasil uji Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Kementerian Perindustrian dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Hasil perhitungan uji *impact*

Uji batang	Data		Hasil Perhitungan (Kgf/cm ²)	Hasil uji (Kgf/cm ²)
	Energi pukul (Kgf/m)	Luas penampang (cm ²)		
1	3,8	0,2651	14,33	14,6
2	3,0	0,2640	11,36	11,5
3	4,4	0,2656	16,57	16,9
Rata - rata			14,08	14,3

d. Uji Brinell

Hasil perhitungan uji Brinell secara analitik dengan hasil uji Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Kementerian Perindustrian, dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini:

Tabel 4. Hasil pengujian Brinell pada tabung

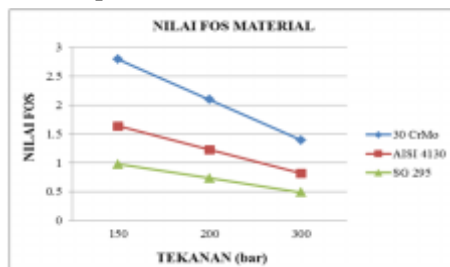
Uji	Data	Hasil Perhitungan (Kgf/mm ²)	Hasil uji (Kgf/mm ²)
1	D : 5 mm , d ₁ : 1,75	302,17	321
2	D : 5 mm , d ₂ : 1,8	284,21	285
3	D : 5 mm , d ₃ : 1,8	284,21	285
Rata-rata		290,197	297

e. Komposisi kimia

Dari hasil uji analisa kimia diketahui bahwa material yang digunakan memiliki kadar karbon 0,255 %, maka material ini digolongkan baja karbon menengah (*medium carbon steel*), namun material ini juga memiliki penambahan unsur yang merupakan jenis baja paduan (*alloy steel*).

2. Hasil uji menggunakan simulasi *software* CAD *SOLIDWORKS 2014* terdiri dari :a. *Factor Of Safety* (FOS)

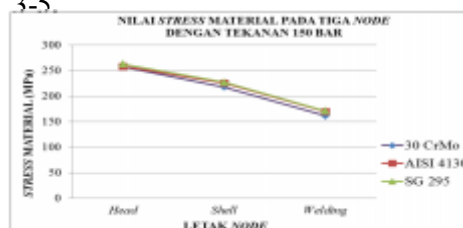
Nilai *Factor Of Safety* (FOS) merupakan nilai berupa angka yang menunjukkan faktor aman suatu material. Menurut tutorial *SOLIDWORKS STRESS ANALYSIS*, *factor Of Safety* (FOS) merupakan acuan utama yang digunakan dalam menentukan kualitas suatu produk. Jika nilai FOS minimal kurang dari 1 (satu), maka produk tersebut memiliki kualitas yang buruk. Gambar 2 berikut menunjukkan nilai *Factor Of Safety* (FOS) masing – masing material. Dapat dilihat pada Gambar 2.



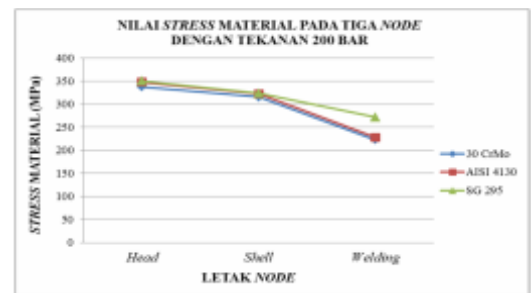
Gambar 2. Perbandingan nilai FOS material terhadap tekanan yang berbeda

b. *Stress material*

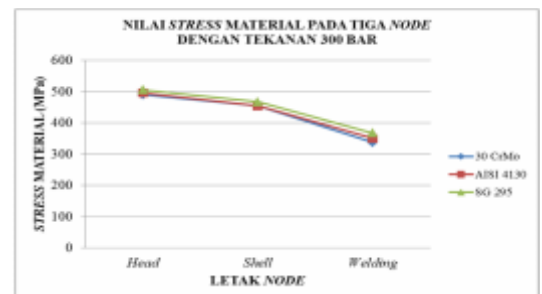
Pada simulasi ini diambil tiga letak *node* yakni pada *welding* (sambungan), *shell* (dinding) dan *head* (kepala) karena merupakan bagian utama pada tabung BBG jenis CNG. Berikut menggambarkan grafik nilai *stress* material pada setiap *node* pada masing – masing tekanan, seperti pada Gambar 3-5.



Gambar 3. Nilai *stress* material tiap *node* pada tekanan 150 bar



Gambar 4. Nilai *stress* material tiap *node* pada tekanan 200 bar



Gambar 5. Nilai *stress* material tiap *node* pada tekanan 300 bar

c. Hasil uji *displacement*

Adalah hasil uji pada simulasi *software* CAD dalam *SOLIDWORKS 2014* yang menunjukkan pergeseran yg dialami tabung setelah menerima tekanan dalam satuan millimeter. Gambar 6-8 berikut menunjukkan grafik hasil uji *displacement* material pada tekanan yang berbeda.



Gambar 6. Hasil uji *displacement* material pada tekanan 150 bar



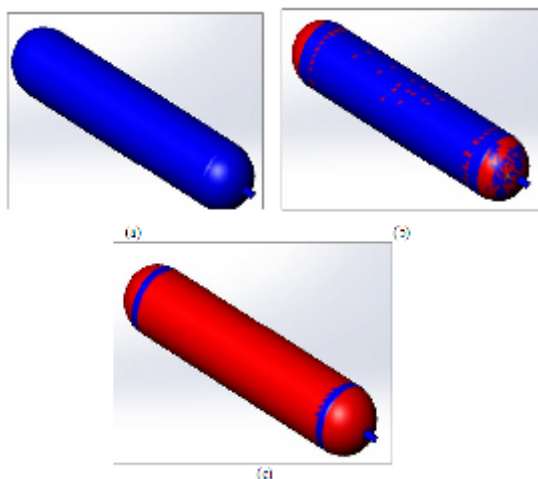
Gambar 7. Hasil uji *displacement* material pada tekanan 200 bar



Gambar 8. Hasil uji *displacement* material pada tekanan 300 bar

d. Hasil uji perubahan bentuk material (*deformad shape*)

Hasil uji simulasi untuk *deformad shape* atau perubahan bentuk, terjadi pada saat material tabung mendapatkan tekanan. Perubahan yang signifikan terjadi pada tabung yang mendapatkan tekanan diatas 200 bar yakni pada simulasi dengan tekanan 300 bar. Namun pada material *steel* SG 295 pada tekanan 200 bar telah mengalami perubahan bentuk. Berikut merupakan gambaran pada saat material mengalami perubahan bentuk, seperti pada Gambar 9 berikut ini:



Gambar 9. Perubahan bentuk material (a) 30 CrMo tekanan 300 bar (b) SG 295 tekanan 200 bar dan (c) AISI 4130 tekanan 300 bar

IV. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini memberikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan analitik dengan menggunakan rumus formula diperoleh

hasil perhitungan mendekati sama dengan hasil uji,

2. Komposisi kimia yang terdapat pada material terdiri dari unsur karbon 0,25 % dan unsur penambah lainnya yang dapat menaikkan sifat material yang lebih baik. Jenis baja yang digunakan adalah *Alloy steel*, sehingga material tabung yang digunakan sesuai dengan standar yang telah ditentukan ,
3. Nilai *Factor of Safety* (FOS) pada simulasi *software CAD SOLIDWORKS 2014* menunjukkan material tabung yang digunakan memiliki nilai FOS antara 1 sampai 3 yang menunjukkan material aman digunakan.
4. Dari hasil uji menggunakan *software CAD SOLIDWORKS 2014*, faktor *internal* yakni material tabung yang digunakan *steel* 30 CrMo menunjukkan material aman digunakan bahkan pada tekanan maksimum 300 bar. Terjadinya kecelakaan pada tabung yang terjadi bukan disebabkan faktor *internal* yakni material tabung, namun dimungkinkan akibat faktor *eksternal*.

Daftar Pustaka

- Aulia Firmansyah, Totok Yulianto, 2013, "Analisa Kekuatan Tangki CNG Ditinjau Dengan Material Logam Lapis Komposit Pada Kapal Pengangkut *Compressed Natural Gas*.*Jurnal Teknik Pomits*" .Vol. 2 No. 1,16 November 2013.
- Buthode, P., Magyesy F. E, 1997, "*Pressure Vessel Handbook 10 th Edition*", United States of America , 9 Februari 2014
- Djoeli Satrijo, Syarief Afif Habsya, 2012, "Perancangan dan Analisa Tegangan Pada Bejana Tekan Horizontal dengan Metode Elemen Hingga". *Rotasi*, Vol. 14 , No. 23, 17 November 2013.
- Rendra Yogi Januar H,. 2009. "Analisa Pembakaran Pada *Dual Fuel Diesel Engine* Berbahan Bakar Utama *Compressed Natural Gas* (CNG) dengan Metode Pemodelan". Tugas akhir ITS, 5 Januari 2014.
- Rosli A. Bakar, Mohamad F. Othman, Semin, Abdul R. Ismail, "*The Compressed Natural Gas (CNG) Cylinder Pressure*

Storage Technology in Natural Gas Vehicles (NGV) Research Trends”, Jurnal Universitas Malaysia Pahang, 30 Desember 2013.

Sitorus, Burhanuddin Tulus, 2002, “Tinjauan Pengembangan Bahan Bakar Gas Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *USU digital library*”, mesin-tulus2.pdf, 30 Desember 2013.

Sitorus, Burhanuddin Tulus., Hariyanto, Arief Hariyanto, Kentardjo, Rachmat dan Wiranto Arismunandar, 2002, “Simulasi Regulator Tekanan Untuk Kendaraan Berbahan Bakar Gas dengan Program Fire”. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 4, No.2, 17 November 2013.

Tomi Santoso, Soeweify. “Desain Tangki dan Tinjauan Kekuatannya Pada Kapal Pengangkut *Compressed Natural Gas* (CNG)”. Jurnal ITS, 3 Januari 2014.

Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (BP4T), Kementerian Perindustrian dan LEMIGAS, 2012.